



⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 3708941 A1

⑯ Aktenzeichen: P 37 08 941.2
⑯ Anmeldetag: 20. 3. 87
⑯ Offenlegungstag: 29. 9. 88

⑯ Int. Cl. 4:

B01D 53/34

A 62 D 3/00
B 01 D 50/00
F 23 J 15/00
// B01D 51/00

Behördenelgentum

⑯ Anmelder:
Steag AG, 4300 Essen, DE

⑯ Vertreter:
Zenz, J., Dipl.-Ing., 4300 Essen; Helber, F., Dipl.-Ing.,
Pat.-Anwälte, 6144 Zwingenberg

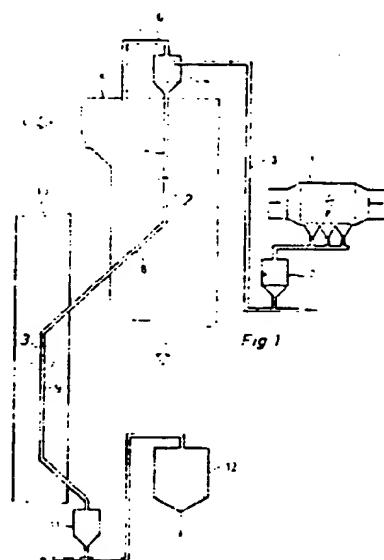
⑯ Erfinder:
Hannes, Klaus, Dipl.-Ing. Dr., 5628 Heiligenhaus, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Verfahren und Vorrichtung zum Vorbehandeln von Filteraschen aus Feuerungsanlagen

Verfahren und Vorrichtung zum Vorbehandeln von Filteraschen aus Feuerungsanlagen.

Zum Austreiben von Ammoniak aus Filterasche wird die Asche durch ein im Abgaszug (5) einer Feuerung angeordnetes Desorptionsfallrohr (7) geleitet und dort erhitzt. Das dabei ausgetriebene Ammoniak wird in den Abgasstrom entlassen und dort erneut für eine selektive NO_x-Reduktion zur Verfügung gestellt. Nach dem Austreiben des gasförmigen Reduktionsmittels wird die Asche durch ein Kühlrohr (9) geleitet, das in dem zur Verbrennung verwendeten Frischluftstrom angeordnet ist. Die Asche wird durch Wärmetausch mit dem Frischluftstrom abgekühlt und wärmt dabei den Frischluftstrom vor.



Patentansprüche

1. Verfahren zum Vorbehandeln von Flugstaub oder -asche, insbesondere von Filterasche, die in Feuerungsanlagen nach einer selektiven katalytischen oder nicht-katalytischen NO_x-Reduktion aus staubhaltigen Verbrennungsabgasen abgeschieden wird und mit unverbrauchten Reduktionsmitteln oder einer Reduktionsmittelverbindung beladen ist, wobei die Asche in einen Desorber überführt und in diesem auf eine zum Austreiben des gasförmigen Reduktionsmittels erforderliche Temperatur erhitzt wird, dadurch gekennzeichnet, daß die im Desorber befindliche Asche durch einen Abgasstrom einer Feuerung erhitzt, das dabei ausgetriebene Reduktionsmittel in den Abgasstrom entlassen und dort erneut für eine selektive NO_x-Reduktion zur Verfügung gestellt wird. 5

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Asche mit einer Verweilzeit bis zu 8 Stunden in dem im Rauchgasstrom befindlichen Desorber auf einer Temperatur von 200 – 600°C gehalten wird. 20

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Austreiben des gasförmigen Reduktionsmittels in den Rauchgasstrom die Asche mit dem zur Verbrennung verwendeten Frischluftstrom in wärmetauschende Beziehung gebracht, zu dessen Vorwärmung verwendet und selbst abgekühlt wird. 25

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Asche nach einer vorgegebenen Verweilzeit im Desorber pneumatisch, mechanisch oder unter Schwerkrafeinfluß in ein Kühlohr gefördert wird. 30

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Asche im Kühlohr mit solcher Geschwindigkeit stetig fortbewegt wird, daß ihre Verweilzeit im Kühlohr zwischen 15 Minuten und 2 Stunden beträgt. 40

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet daß die Asche pneumatisch in einen Abscheider geleitet wird, aus dem das gasförmige Fördermedium in denselben Rauchgasstrom geleitet wird, in den auch das ausgetriebene gasförmige Reduktionsmittel entlassen wird. 45

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Asche auf dem Wege zum Abscheider durch Abgasstrom geführt und in diesem vorgewärmt wird. 50

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß als Fördermedium ein sauerstoffarmes Gas, insbesondere Rauchgas verwendet wird. 55

9. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Desorber wenigstens ein Desorptionsfallrohr (7) aufweist, das mit einem Gasaus tausch zwischen Rohrinnenraum und Umgebung ermöglichen Öffnungen (72) versehen ist, und daß das Desorptionsfallrohr senkrecht bis maximal 30° geneigt zur Senkrechten in einem Rauchgaszug (5) angeordnet ist und einen hydraulischen Innen durchmesser von 10 bis 500 mm hat. 60

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Desorptionsfallrohr (7) mit teilweise offenen Sicken (71) versehen ist, die in den Rohrinnenraum vorspringen und die Asche auf ih-

rem Weg durch das Fallrohr (7) durchmischen, jedoch weitgehend am Austritt in den Rauchgasstrom hindern.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Desorptionsfallrohr (7) aus koaxial hintereinander angeordneten kegelstumpfförmigen Rohrstücken (76) aufgebaut ist, wobei sich die Rohrstücke von oben nach unten verjüngen und die engsten Rohrquerschnitte jeweils über Stege (77) mit den am oberen Ende weiten Rohrquerschnitten des nachfolgenden Rohrstücks verbunden sind.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Kühlohr (9) an das Desorptionsfallrohr (7) angeschlossen ist und in dem zur Feuerung führenden Frischluftkanal (10) senkrecht oder um maximal 30° zur Senkrechten geneigt verläuft.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den unteren Ende des Desorptionsfallrohrs (7) und dem oberen Ende des Kühlohrs (9) mechanische, pneumatische oder durch Gravitation wirksame Mittel (8, 13) zur Förderung der von Reduktionsmitteln befreiten Asche in das Kühlohr (9) vorgesehen sind.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Kühlohr (9) mit nach innen vorspringenden Nasen (91) zum Durchmischen und besseren Wärmetausch der Asche versehen ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die zu behandelnde Asche durch pneumatische Mittel (3) in einen Abscheider (4), insbesondere einen Fliehkraftabscheider oder einen mit einem Filtermedium versehenen Staubabscheider, gelitet wird und daß der Abscheider (4) eine Gasauslaßleitung (6) hat, die in den Rauchgaszug (5) mündet.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß eine zum Abscheider (4) führende Förderleitung (3') durch den Abgaszug (5) geführt und als Steigleitung ausgebildet ist.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Vorbehandeln von Flugstaub oder -asche, insbesondere von Filterasche, die in Feuerungsanlagen nach einer selektiven katalytischen oder nicht-katalytischen NO_x-Reduktion aus staubhaltigen Verbrennungsabgasen abgeschieden wird und mit unverbrauchtem Reduktionsmittel oder einer Reduktionsmittelverbindung beladen ist, wobei die Asche in einen Desorber überführt und in diesem auf eine zum Austreiben des gasförmigen Reduktionsmittels erforderliche Temperatur erhitzt wird. Ferner bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

Bei einer Vielzahl von Verfahren zur Entstickung der Abgase kohlegefeuerter Kraftwerke wird den staubhaltigen Verbrennungsabgasen ein Reduktionsmittel zur Entfernung von NO_x durch selektive Reduktion ohne oder mit Katalysator zugeführt. Als Reduktionsmittel wird in erster Linie Ammoniak eingesetzt. Bei der Verfahrensführung ist ein Schlupf von unverbrauchtem Reduktionsmittel aus der Reaktionszone, in die es eingebracht wird, unvermeidbar. Es wurde festgestellt, daß sich der Schlupf im Falle von Ammoniak bzw. Ammoniakvorstufen als Reduktionsmittel zum überwiegenden

3708941

Nummer: 37 08 941
Int. Cl. 4: B 01 D 53/34
Anmeldetag: 20. März 1987
Offenlegungstag: 29. September 1988

1/2

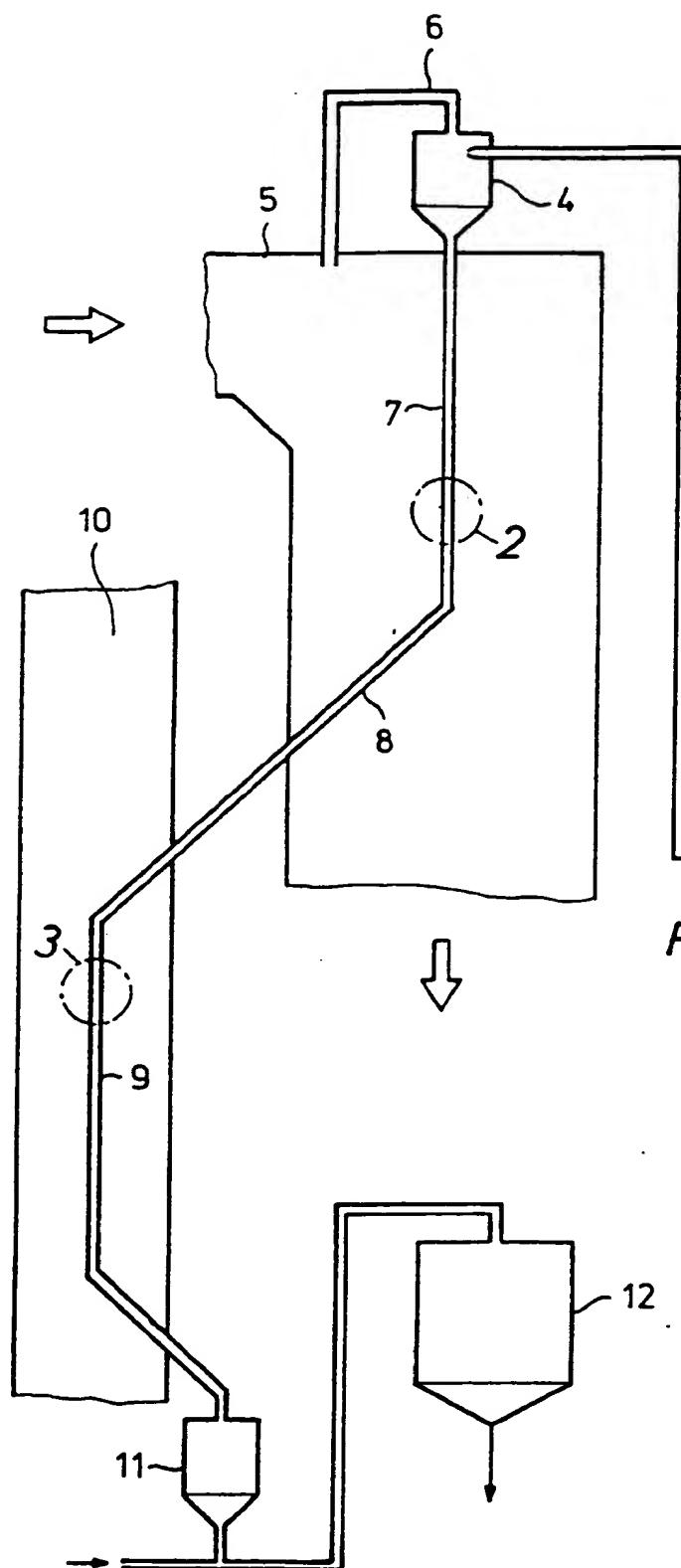


Fig. 1

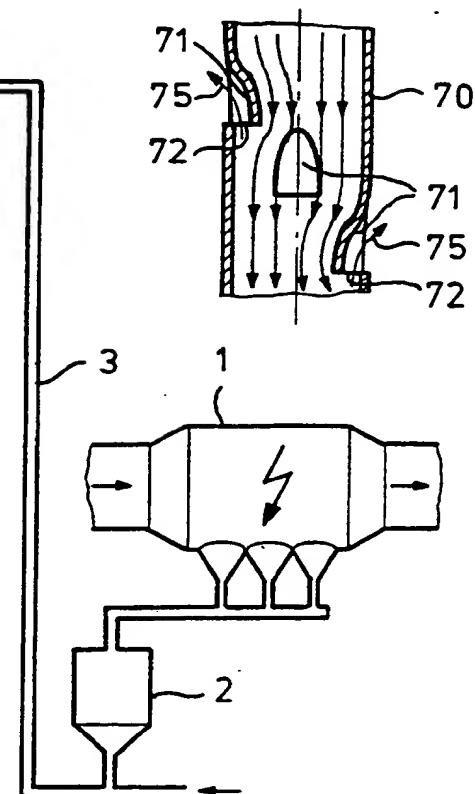


Fig. 2A

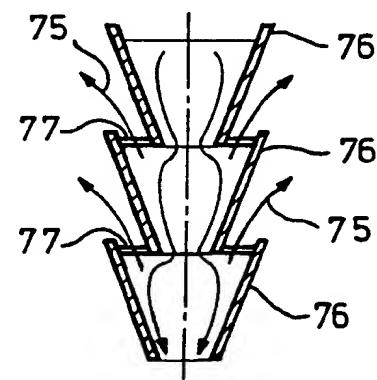


Fig. 2B

3708941

2/2

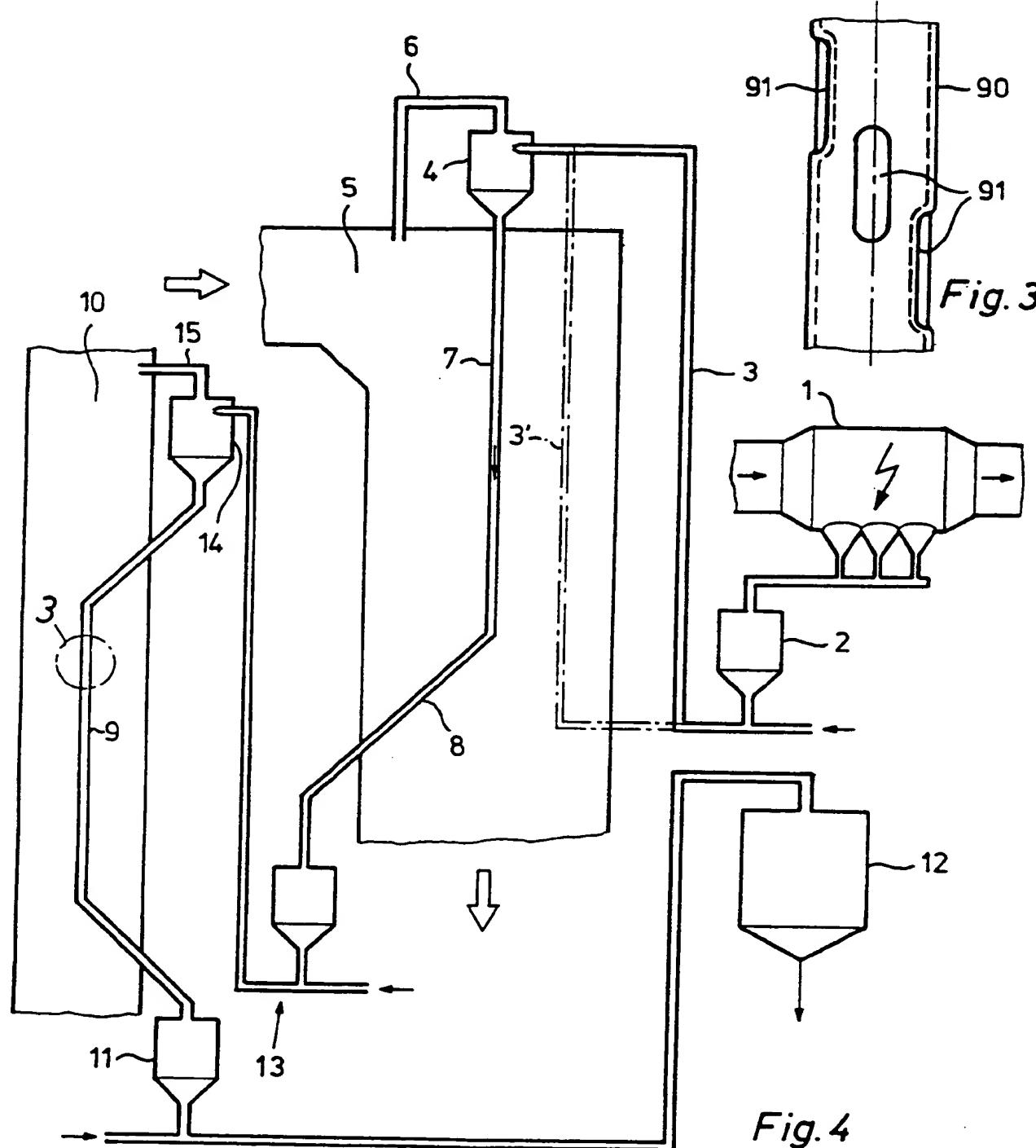


Fig. 4

ORIGINAL INSPECTED

Teil als Ammoniumsalzbeladung darstellt, während ein wesentlich geringerer Teil in dem entstickten Rauchgas verbleibt. Die mit Ammoniak oder Ammoniumsalzen beladene Flugasche, die üblicherweise in Elektrofiltern abgeschieden wird, setzt gasförmiges Ammoniak frei, wenn sie angefeuchtet wird und sich alkalische Bedingungen einstellen. Dies geschieht sowohl beim Anfeuchten der Asche zum Zwecke der Deponierung als auch beim Einsatz der Filterasche als Zuschlagsstoff für Mörtel und Betone.

Aus der DE-OS 34 25 070 ist es bekannt, die die Filterasche beladenden Ammoniumsalze bei Temperaturen oberhalb von 250°C thermisch zu zersetzen und die Filterasche dabei von Ammoniak im wesentlichen zu befreien. Dies geschieht dadurch, daß der mit Reduktionsmittelverbindungen beladene abgeschiedene Flugstaub erwärmt und das dabei ausgetriebene Reduktionsmittel mittels eines Trägergases abgezogen wird. Das Trägergas wird zusammen mit dem ausgetriebenen Reduktionsmittel dem noch nicht entstickten Abgas zugeführt.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die bekannte thermische Vorbehandlung der Flugasche zur Befreiung der Flugasche von unverbrauchten Reduktionsmitteln bzw. Reduktionsmittelverbindungen zu vereinfachen und besser in den Feuerungsprozeß einzubinden.

Verfahrensmäßig wird diese Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst daß die im Desorber befindliche Asche durch einen Verbrennungsabgasstrom einer Feuerung erhitzt, das dabei ausgetriebene Reduktionsmittel in den Verbrennungsabgasstrom entlassen und dort erneut für eine selektive NO_x-Reduktion zur Verfügung gestellt wird. Durch die Erfindung wird sowohl das Austreiben des gasförmigen Reduktionsmittels aus der Asche als auch dessen Rückführung in den noch nicht entstickten Abgasstrom wesentlich vereinfacht. Es wird – anders als beim Stande der Technik – keine zusätzliche thermische Einrichtung zum Erwärmen des ammoniakhaltigen Flugstaubs und zum Austreiben des Ammoniaks benötigt, da beide Vorgänge unmittelbar im Abgaskanal der ohnehin vorhandenen Feuerung stattfinden, wo die erforderliche Temperatur im Bereich von 200 bis 600°C zur Verfügung steht. Es tritt auch kein Energieverlust durch die genannte Aufwärmung der Filterasche ein. Das ausgetriebene Ammoniak befindet sich bereits zum Zeitpunkt des Austreibens aus dem Desorber in dem zu entstickenden Abgasstrom und wird mit diesem in den Reaktor zur NO_x-Reduktion transportiert. Das aus der Filterasche ausgetriebene, bei der vorhergehenden NO_x-Reduktion unverbrauchte Ammoniak wird auf diese Weise unmittelbar wieder in den Rauchgasentstickungsprozeß zurückgeführt und verringert die Menge an für die NO_x-Reduktion erforderlichem frischen Reduktionsmittel.

Die Asche wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren mit einer Verweilzeit bis zu 8 Stunden in dem im Rauchgasstrom befindlichen Desorptionsrohr gehalten, und zwar auf einer Temperatur von 200 bis 600°C.

In bevorzugter Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, daß nach dem Austreiben des gasförmigen Reduktionsmittels in den Rauchgasstrom die Asche mit dem zur Verbrennung verwendeten Frischluftstrom in wärmetauschende Beziehung gebracht, zur Vorwärmung der Frischluft verwendet und dabei abgekühlt wird. Auf diese Weise wird die unmittelbar dem Verbrennungsabgas entnommene Wärmeenergie für das Austreiben des Ammoniaks an den Feuerungsprozeß

nachfolgend wieder abgegeben.

Die Asche wird im Kühlrohr vorzugsweise stetig und mit solcher Geschwindigkeit fortbewegt, daß ihre Verweilzeit im Kühlrohr zwischen 10 Minuten und 2 Stunden beträgt.

In bevorzugter Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Asche pneumatisch in einen Abscheider geleitet, aus dem das Fördermedium in denselben Abgasstrom geleitet wird, in den auch das ausgetriebene gasförmige Reduktionsmittel entlassen wird. Dadurch werden Druckdifferenzen zwischen dem Innenraum des Desorptionsrohrs und dessen Umgebung, d. h. dem Abgasstrom, vermieden. Als Fördermedium eignet sich Luft ebenso wie Rauchgas oder ein Inertgas, wie N₂ oder CO₂. Zur Vermeidung einer möglichen Dioxinbildung ist Rauchgas gegenüber Luft als Fördermedium bevorzugt.

Vorrichtungsmäßig zeichnet sich die Erfindung dadurch aus, daß der Desorber wenigstens ein Desorptionsfallrohr aufweist, das mit einem Gasaus tausch zwischen Innenraum und Umgebung ermöglichen Öffnungen versehen ist, und daß das Desorptionsfallrohr senkrecht bis maximal 30° geneigt zur Senkrechten in einem Rauchgaszug ist angeordnet und einen hydraulischen Innendurchmesser von 10 bis 500 mm hat.

In bevorzugter Weiterbildung der Erfindung ist wenigstens ein Kühlrohr an das Desorptionsfallrohr angeschlossen und in einem Frischluftkanal senkrecht oder um maximal 30° zur Senkrechten geneigt geführt.

Weitere Einzelheiten, Vorteile und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von in der Zeichnung schematisch dargestellten Ausführungsbeispielen. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels der Vorrichtung zum Vorbehandeln der Filterasche von Feuerungsanlagen, wobei nur der bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung beteiligte Teil der Feuerungsanlage gezeigt ist;

Fig. 2A und B Axialschnitte durch zwei unterschiedlich ausgebildete Desorptionsrohrabschnitte;

Fig. 3 ein schematischer Axialschnitt durch ein Ausführungsbeispiel eines Abschnitts eines Kühlrohrs; und

Fig. 4 eine Ansicht ähnlich derjenigen gemäß Fig. 1 auf ein abgewandeltes Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Im folgenden wird zunächst auf Fig. 1 Bezug genommen:

Das Entsticken der staubhaltigen Abgase einer Kohlefeuerungsanlage erfolgt in einem in der Zeichnung nicht dargestellten High-Dust-SCR-Reaktor. Aus den entstickten Abgasen wird in einem Elektrofilter 1 die Asche abgeschieden. Die Filterasche wird zunächst in einen Elektrofiltern üblicherweise zugeordneten Vorratsbehälter 2 gefördert. Von dort wird die Filterasche pneumatisch durch eine Leitung 3 in einen Zyklon 4 gefördert, der nahe oder in einem Abgaszug 5 der Feuerung angeordnet ist. Im Zyklon 4 wird der Filterstaub von der Förderluft getrennt. Die Förderluft tritt vorge reinigt aus dem Zyklon 4 aus und wird über eine Leitung 6 in den Abgaszug 5 geleitet. Da das Abgas vor der Stickoxid-Reduzierung und Staubscheidung ohnehin Asche mitführt, reicht eine grobe Vorreinigung der über die Leitung 6 in den Rauchgaszug 5 eingeleiteten Förderluft völlig aus.

Die Asche fällt aus dem Zyklon 4 durch Schwerkraft in ein Desorptionsfallrohr 7, in welchem sie vorgewärmt und von Ammoniak und Ammoniumsalzen weitgehend

befreit wird. Das Desorptionsfallrohr 7 ist entsprechend der Darstellung in Fig. 1 vorzugsweise etwa senkrecht im Rauchgaszug 5 angeordnet; es kann aber auch bis zu etwa 30° zur Senkrechten geneigt verlaufen.

Das Desorptionsfallrohr 7 ist so ausgebildet, daß die während der Verbrennung im Desorptionsfallrohr 7 zur thermischen Zersetzung der Ammoniumsalze erhitzte Asche im Rohr 7 verbleibt, während gasförmiges Ammoniak durch in der Rohrwandung ausgebildete Öffnungen in den Abgasstrom im Abgaszug 5 entweichen kann.

Zwei geeignete Ausführungsbeispiele des Desorptionsfallrohrs 7 sind in den Fig. 2A und 2B schematisch dargestellt.

Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 2A sind über den Umfang der Rohrwandung 70 teilweise offene Sicken 71 verteilt, die in den Rohrinnenraum vorspringen, oben geschlossen sind und darunterliegende Öffnungen 72 für den Durchtritt des gasförmigen Ammoniaks (Pfeile 75) überlappen. Die nach innen vorspringenden Sicken 71 sorgen für eine Vermischung der Asche in der im Rohrinnenraum befindlichen Aschesäule und damit für eine gleichmäßige Aufheizung der Asche und Ausbreitung des gasförmigen Reduktionsmittels, Ammoniak.

Das in Fig. 2B schematisch dargestellte Desorptionsfallrohr besteht aus koaxial hintereinander angeordneten kegelstumpfförmigen Rohrstücken 76, die sich jeweils von oben nach unten hin verjüngen. Die jeweils engsten Rohrquerschnitte sind mit den an oberen Ende weiten Rohrquerschnitten der jeweils nachfolgenden Rohrstücke über Stege 77 verbunden. Zwischen benachbarten Rohrstücken 76 verbleibt ein, durch die Stege etwa radial unterbrochener Ringspalt für den Durchtritt gasförmigen Ammoniaks. Auch hier sind die ringförmigen Öffnungen von den darüberliegenden kegelstumpfförmigen Rohrstücken jeweils überlappt, so daß durch die Öffnungen keine Asche nach außen austreten kann. Die sich verjüngenden Rohrquerschnitte sorgen auch bei diesem Ausführungsbeispiel für eine gute Vermischung der durch das Desorptionsfallrohr von oben nach unten durchtretenden Aschemenge.

Durch die beschriebene Ausbildung und Anordnung des Desorptionsfallrohrs 7 ist sichergestellt, daß die Filterasche unter ständiger Bewegung gleichmäßig auf die zur Desorption notwendige Temperatur erhitzt wird und das sich bildende gasförmige Ammoniak seitlich in den Abgasstrom (Pfeile 75) austreten kann und mit diesen fortgetragen wird. Dieses Ammoniak wird zusammen mit dem Abgasstrom dem Katalysator zugeführt und kann hier wieder zur Reduktion von Stickstoffoxiden benutzt werden, so daß praktisch keine Ammoniakverluste auftreten.

Nach dem Austreiben des Ammoniaks aus der Filterasche im Desorptionsfallrohr 7 wird die jetzt auf einer Temperatur oberhalb von 250°C befindliche Filterasche durch eine Rohrverbindung 8 in ein Kühler 9 geführt. Das Kühler 9 ist in einen Frischluftkanal 10 vorzugsweise vertikal eingehängt. Das Kühler 9 kann ebenso wie das Desorptionsfallrohr 7 ggf. bis zu etwa 30° zur Senkrechten geneigt angeordnet sein. In dem Kühler 9 sind beispielsweise entsprechend der Darstellung in Fig. 3 nach innen vorspringende Nasen oder Rippen (91) ausgebildet, welche die Asche zur Verbesserung des Wärmetauschs zur Frischluft beim Durchtritt durch das Kühler 9 durchmischen. Durch diese Anordnung wird praktisch die gesamte, in der Filterasche vorhandene fühlbare Wärme dem Feuerungsprozeß wieder zur Ver-

fügung gestellt, da die Frischluft vorzugsweise vor dem regenerativen Luftvorwärmer durch das Kühler 9 vorgewärmt wird. Aus dem Kühler 9 wird die Filterasche über eine Fördereinrichtung 11 in ein Filteraschensilo 12 gefördert und steht dort, befreit von Ammoniumsalzen und angelagertem Ammoniak zur Verladung und weiteren Verwendung zur Verfügung.

Das in Fig. 4 dargestellte abgewandelte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 durch den Transport der heißen Asche aus dem Desorptionsfallrohr 7 zum Kühler 9. Die Ausführungsform gemäß Fig. 4 ist vor allem dann zweckmäßig, wenn die Rauchgas- und Frischluftkanäle 5 und 9 — insbesondere bei Zweizugkesseln — relativ weit entfernt voneinander angeordnet sind. Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 4 wird die Asche durch eine pneumatische Fördereinrichtung auf 13 ein höheres geodätisches Niveau gehoben. In einem Zyklon 14 erfolgt das Abscheiden des Fördermediums, z. B. Luft oder Rauchgas, von der Asche ähnlich wie im Zyklon 4. Die von dem Fördermedium befreite Asche wird aus dem Zyklon 14 in das Kühler 9 ausgegeben; das Fördermedium wird dem Frischluftstrom im Frischluftkanal 10 über eine Leitung 15 zugeführt. Auf diese Weise ist unter allen Umständen eine ausreichend lange Kühlstrecke 9 erzielbar.

Im Rahmen des Erfindungsgedankens sind zahlreiche Abwandlungen möglich. So können beispielsweise sowohl das Desorptionsfallrohr 7 als auch das Kühler 9 eine von einem runden Querschnitt abweichende Gestaltung, z. B. einen etwa rechteckigen Querschnitt haben. Insbesondere das Desorptionsfallrohr kann eine oder mehrere Jalousiewände zum Gasaustrausch bei gleichzeitigem Zurückhalten der Asche im Rohrinnenraum aufweisen. Das Desorptionsrohr kann unter Umständen auch als Steigrohr ausgebildet sein. Als Desorptionssteigrohr eignet sich die in Fig. 4 strichpunktiert dargestellte Förderleitung 3', die durch den Abgaszug 5 geführt ist. Die Asche wird in der Förderleitung bereits auf die Desorptionstemperatur vorgewärmt. Es ist auch bei der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen mit Desorptionsfallrohr 7 zweckmäßig, die Förderleitung 3' (Fig. 4) etwa parallel zum Desorptionstrohr 7 durch den Abgaszug 5 zu führen, um die Asche vorzutragen.

Alle in der Zeichnung einfach dargestellten Rohrleitungen können auch als Rohrbündel vorgesehen sein, was insbesondere für das Desorptionsrohr 7 und das Kühler 9 zweckmäßig sein kann. Auch die Silos oder Zyklone können mehrfach, z. B. als Batterien vorgesehen sein, um entsprechend leistungsschwächer Komponenten einsetzen zu können. Wesentlich ist, daß das Erhitzen der Ammoniumsalz-beladenen Asche im Desorptionsfallrohr 7 unmittelbar in demjenigen Abgaskanal stattfindet, in welchem Abgase aus der Feuerung bzw. dem Kessel zur Stickstoffoxid-Reduktion strömen. Dadurch wird sowohl die Wärmebilanz beim Austreiben des gasförmigen Ammoniaks aus der Filterasche optimiert als auch der bauliche Aufwand minimiert und schließlich das ungenutzte Ammoniak direkt wieder in den Stickstoffoxid-Reduktionsprozeß rückgeführt.